



新能源 技术丛书

# 地热利用技术

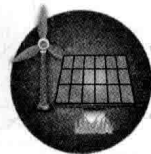
郑克棫 潘小平 马凤景 陈梓慧 著

DIRE LIYONG JISHU



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

国家科学技术学术著作出版基金资助出版



新能源技术丛书

# 地热利用技术

郑克棫 潘小平 马凤景 陈梓慧 著

DIRE LIYONG JISHU



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书系统介绍地热能开发利用技术。全书共七章，主要内容包括地热能可在再生能源中的优势，地热利用的资源基础，当前实用性的高温地热发电、中低温地热直接利用和浅层地热能利用技术，前瞻性干热岩资源的研究进展，世界最前沿的地热能开发试验。

本书由长期从事地热资源勘查和开发利用第一线的专家编写，依靠扎实的专业知识基础和丰富的实践工作经验，并广泛参阅国内外科技文献，使通俗介绍的利用技术更具实用性、可操作性和先进性，可供地热及相关专业技术人员参考，也可供有意地热产业的开发者、对新能源利用技术感兴趣的人员及管理人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

地热利用技术 / 郑克棣等著. —北京: 中国电力出版社, 2018.7

(新能源技术丛书)

ISBN 978-7-5198-1306-2

I. ①地… II. ①郑… III. ①地热利用 IV. ①TK529

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 257767 号

审图号: GS (2018) 1417 号

---

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 王杏芸 郑晓萌 (010-63412394)

责任校对: 王小鹏

装帧设计: 张俊霞 赵姗姗

责任印制: 杨晓东

---

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

版 次: 2018 年 7 月第一版

印 次: 2018 年 7 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 14.75 4 插页

字 数: 323 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 65.00 元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

# 1 地热勘探开发



◀ 寻找地热资源的前期地球物理勘查



◀ 北京城区又钻成一眼地热井出水



▲ 某建成地热井泵房的电脑操作控制台



▲ 北京某地热回灌井的井口装置

## 2 地热发电



▲ 我国第一台地热发电机组 1970 年在广东丰顺建成（现 300kW）



▲ 西藏羊八井地热电站（装机容量 24.18MW）

▼ 西藏羊易地热电站开始建设，暂发电 900kW 供建设用电



▼ 华北留北油田建成的 400kW 双工质螺杆机地热发电



### 3 供暖和温度



◀ 天津市海河新天地地热供暖小区 (23.5 万  $m^2$ )



◀ 国际会议代表参观天津市海河新天地地热供热站



◀ 现代化地热温室种植的名贵花卉 (天津)

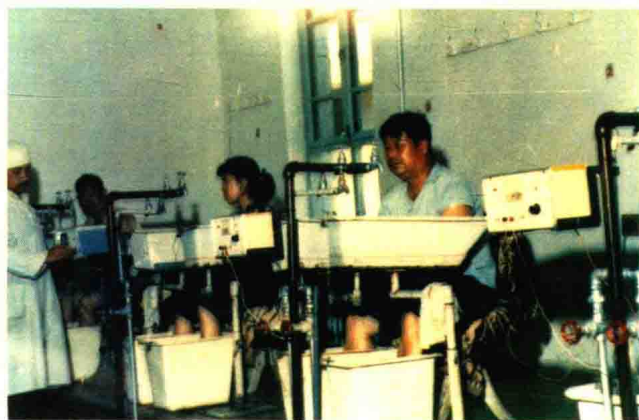


▲ 地热工厂化高密度水产养殖 (北京)

## 4 洗浴、医疗、休闲



▲ 传统温泉洗浴是大众化的地热普及利用



▲ 温泉疗养院传统的温泉水电疗特效治疗关节炎



◀ 温泉游泳池颇受广大群众欢迎



◀ 北方的冬天可以在温泉垂钓馆里钓鱼休闲

## 5 工农业利用



▲ 天津和北京的数十家纺织印染厂将地热水用于洗染流程



▲ 西藏牧民给牦牛洗温泉，保健康防病患



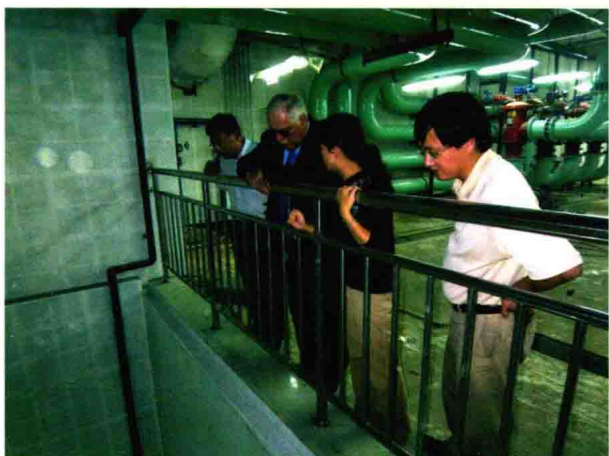
◀ 利用地热烘干机给农产品烘干以利保存



◀ 北方利用地热雏禽孵化，甚至养殖鸵鸟



## 6 地源热泵



▲ 国际地热协会主席 2008 年参观北京奥运会地源热泵应用



▲ 沈阳全市新建建筑全部采用地源热泵供暖，成全国第一



◀ 过去没有冬季供暖的长江流域，南京市地源热泵供暖的房地产深受市民欢迎



◀ 武汉市政府深得民心的“冬暖夏凉工程”实施地源热泵供暖制冷，这是 13 万  $m^2$  的海山金谷项目（陆特能源提供）

## 7 干热岩发电



▲ 世界第一个兆瓦级干热岩 /EGS 发电的法国苏尔茨地热电站 (1.5MW)



▲ 德国兰道的干热岩 /EGS 发电站 (3MW, 年运行超过 8200h)



◀ 德国印希姆的干热岩 /EGS 电站 (装机容量世界最大 5MW)



◀ 澳大利亚库珀盆地的夏宾奴干热岩 /EGS 电站 (1MW)

## 8 新技术前沿

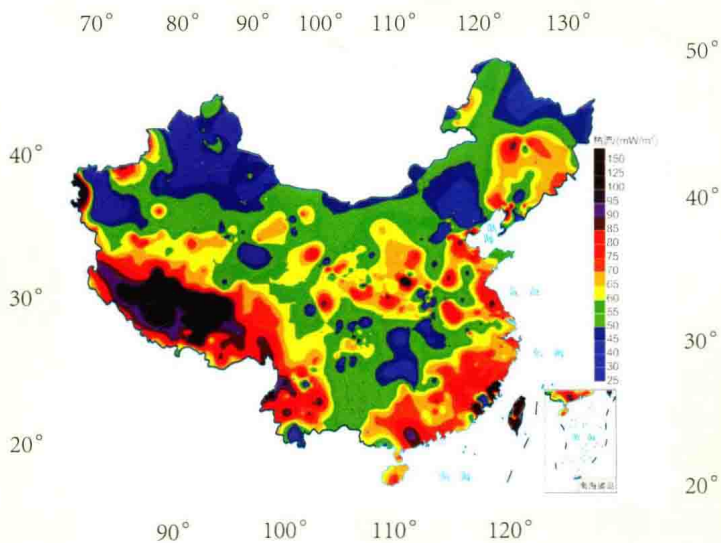


▲ 全球唯一冰岛岩浆钻探 IDDP 项目钻成世界最高产能的地热井

▲ 肯尼亚 Olkaria 地热田的井口地热电站群



◀ 日本地压地热井口和 50 kW 发电在 Matsunoyama



◀ 中国科学院新版大地热流图，供开发者了解各地地热资源背景



# 序

地热，对于多数人来说，似曾相识，又很陌生。温泉的洗浴利用和具有疗效在各国都认为已有一两千年的历史，但是作为地热能源的发电利用，是意大利人在 1904 年首先试验成功，于 1913 年拉德瑞罗地热电站正式建成商业发电。2013 年拉德瑞罗地热电站运行百年之际，欧洲地热大会为之举行了百年庆典。

《中华人民共和国可再生能源法》阐明地热能与风能、太阳能、水能、生物质能、海洋能等同属可再生能源。我国现正实施旨在改变以煤为主的传统能源格局，转向多元化供给模式的“能源生产与消费革命”，即加快可再生能源对传统能源结构的替代。

地热能作为可再生能源中的一员，地热发电没有波动性和间歇性，我国的地热资源又可提供充足的资源后备，无论是地热工作者，还是地热开发商或地热用户，都有责任尽量多地利用地热能，尽量少用煤炭。正如我国科学家、原地质部长李四光教授在 20 世纪 70 年代倡导中国地热开发时所述：“在我们这样一个伟大的社会主义国家里，我们中国人民有志气、有力量克服一切科学技术上的困难，去打开这个无比庞大的热库，让它为人民所利用。如果我们不这样做，而还是走资本主义陈腐的老路，把地球交给我们珍贵的遗产——煤炭之类内容极其丰富的财富，不管青红皂白一概当作燃料烧掉，不到一千年，我们的后代，对我们这种愚蠢和无所作为的行径，是不会宽恕的。”

“十三五”可再生能源规划，延续 2013 年国家能源局等《关于促进地热能开发利用的指导意见》，我国地热事业正迎来新一轮发展高潮。本书适应当前地热发展态势，有现实使用和参考价值。

本书内容全面充实，写作富有特点：

在介绍开发利用技术之前，兼顾了地热资源勘查领域，以避免开发者对资源勘探风险的忽略，是一项提醒和补全。

各相关章节由长年工作在地热资源勘查和开发利用第一线的专家执笔，他们十分熟悉自己的工作领域，还兼有国外地热学习和工作的经历，可以说融汇了丰富的实践经验和国外新技术动向，技术实用可靠，又不失先进。

每个章节的内容，注意辅以图片和照片等实例说明，增加了可读性，便于读者理解掌握。

除了地热常规技术外，本书还介绍了世界地热能开发前瞻性的干热岩资源，依靠增强（工程）地热系统（EGS）技术来开发；同时介绍了地热开发的前沿试验，虽其在世界上尚处研究阶段，但对我们有启发和裨益。



中国工程院院士

2017年6月



## 前 言

本书为《地热利用技术》，是新能源技术丛书之一。

地热属于可再生能源之一。目前世界地热发电的总量约占世界总发电量的 1%，但是，连同前瞻性的干热岩开发逐趋成熟，美国已规划出至 2050 年地热电力将占全美用电的 10%。

高温地热发电品质优异，没有其他可再生能源电力的波动性和间歇性缺点。另外，低温地热资源的热利用大有前途，我国目前建筑能耗占总能量消费的 27.6%（在世界发达国家占 40%），北方地区的供暖占建筑能耗的 36%，如果是暖通空调加上热水供应系统则占建筑能耗的约 60%，地热（包括浅层地热能）利用有巨大潜力承担建筑用热的需求。

我国的能源大业当前正处在能源生产与消费革命的进程中，地热能将在可再生能源替代传统化石燃料能源中发挥重要作用。我国中低温地热资源的直接热利用久居世界首位，而过去我国地热发电发展迟缓，但在新形势下，认识已得到改善，资源更逐步探明，“十三五”时期开始，我国地热开发，尤其是地热发电已有明显转折，取得加速发展。

本书面向有意从事地热产业的开发者和工作者。合作编写人以数十年工作在地热资源勘查和开发利用第一线的专家、总工程师为主，他们既有国外专业学习的基础，又具备丰富的实际工作经验，从他们做过的百千个项目中凝炼出最新鲜、生动的感悟，包括获得过省部级二等奖以上的研究和项目，使本书的利用技术更具实用性、可操作性和先进性。另外，编写人广泛阅读了近些年国外发表的科技文献百余篇，吸取了其中精华，编撰在本书中，期望给读者一个崭新的世界地热开发全貌，并包括尚未在国内翻译、出版过的新技术和新探索，以使国人了解国际地热动态和发展趋势，可有助于中国地热的研究和发展。

本书在 30 多万字的篇幅中并不能教会读者去从事地热开发利用项目的具体设计，但这里介绍了地热开发项目的全过程，包括资源勘探和钻井，以及开发利用所要从事和可以选择的地热利用的各个方面，以使开发者明了全局，也使设计师有所比选，便于开发项目选定设计方案，确立实施计划，顺利完成项目开发。

本书编写分工：郑克棧编写第一章和第三章，潘小平编写第二章，马风景编写第四章和第五章，陈梓慧编写第六章和第七章。全书由郑克棧负责统稿和定稿。

本书得到中国工程院多吉院士的指导和支持，他是中国工程院唯一的地热专业院士，感谢他在百忙之中为本书作序。

由于编者水平所限，书中疏漏之处在所难免，恳请读者不吝指正。

郑克棧

2017年4月



# 目 录

序  
前言

<b>第一章 地热利用技术概述</b> .....	1
第一节 可再生能源与地热能概述 .....	1
第二节 中国的地热能开发 .....	4
第三节 中国地热开发前景 .....	6
参考文献 .....	8
<b>第二章 地热资源保障</b> .....	9
第一节 地热资源 .....	9
第二节 地热资源勘查 .....	12
第三节 地热钻井开采 .....	28
第四节 地热尾水回灌 .....	35
第五节 地热的腐蚀结垢与防治 .....	43
参考文献 .....	46
<b>第三章 高温地热发电技术</b> .....	47
第一节 地热干蒸汽发电 .....	47
第二节 地热湿蒸汽发电 .....	52
第三节 地热双工质发电 .....	62
第四节 地热全流发电 .....	66
第五节 联合循环地热发电 .....	69
第六节 地热发电的新试验 .....	72
参考文献 .....	73
<b>第四章 中低温地热直接利用技术</b> .....	75
第一节 地热供暖 .....	75
第二节 地热制冷 .....	93
第三节 地热温泉理疗 .....	98
第四节 地热农业利用 .....	110



第五节 地热工业利用·····	119
参考文献·····	123
<b>第五章 浅层地热能利用技术</b> ·····	124
第一节 热泵技术·····	124
第二节 热泵技术在浅层地热能开发上的应用·····	135
参考文献·····	173
<b>第六章 干热岩开发技术</b> ·····	174
第一节 世界迄今研究进展·····	174
第二节 场地选定·····	180
第三节 高温钻井·····	186
第四节 压裂激发·····	188
第五节 对流试验·····	192
第六节 电站建设·····	195
参考文献·····	199
<b>第七章 地热能开发前沿试验</b> ·····	202
第一节 岩浆钻探试验研究·····	202
第二节 地压地热资源开发·····	206
第三节 快速钻井技术开发·····	209
第四节 地热井口电站与集成发电模块·····	215
参考文献·····	217
<b>附录 地名、人名和公司名的中英文对照</b> ·····	220
<b>内容索引</b> ·····	222
<b>后记</b> ·····	225
<b>作者简介</b> ·····	227